



⑰ Offenl gungsschrift  
⑩ DE 196 41 074 A 1

⑯ Int. Cl. 6:  
G 01 K 13/08  
B 60 K 41/22

⑪ Aktenzeichen: 196 41 074.6  
⑫ Anmeldetag: 4. 10. 96  
⑬ Offenlegungstag: 9. 4. 98

DE 196 41 074 A 1

⑭ Anmelder:  
ZF Friedrichshafen AG, 88046 Friedrichshafen, DE

⑮ Erfinder:  
Dreibholz, Ralf, 88074 Meckenbeuren, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 196 09 106 A1  
DE 42 06 391 A1  
US 46 78 069  
JP 07-0 12 155 A

LEIMANN, Dirk-Olaf: Wärmearm konstruieren,  
Teil 2: Einfluß der Übersetzungsaufteilung  
auf die Erwärmung von Zahnradgetrieben. In:  
antriebstechnik 32, 1993, Nr.5, S.70-73;  
WINTER,Hans, FUNCK, Gerhard: Wärmeabführung  
bei  
Getrieben unter besonderen Betriebsbedingungen.  
In: antriebstechnik 28, 1989, Nr.8, S.65-68;  
FRICKE,J., u.a.: Messungen an geschmierten  
Gleitflächen. In: messen + prüfen/automatik,  
Juli/Aug. 1979, S.567-570,573;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

- ⑰ Temperaturbestimmung einer Reibschißverbindung  
⑯ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Temperaturbestimmung einer Reibschißverbindung, insbesondere einer Anfahr- oder Schaltkupplung oder Bremse eines Getriebes. Bei Reibschißverbindungen wird durch Relativdrehung zweier Reibflächen Reibungswärme erzeugt. Diese Wärme wird durch einen Kühlmittelfluß abgeführt. Ausgehend von der Umgebungstemperatur der Reibschißverbindung wird ihre aktuelle Temperatur durch Integration der Temperaturänderung berechnet. Die differentielle Temperaturänderung ist dabei proportional zur Differenz aus Reibungsleistung und Wärmeabfuhr.

DE 196 41 074 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Temperaturbestimmung einer Reibschißverbindung, insbesondere einer Anfahr- oder Schaltkupplung oder Bremse eines Getriebes. Bei derartigen Reibschißverbindungen wird durch Relativdrehung zweier Reibflächen Reibungswärme erzeugt. Diese Wärme wird durch einen Kühlmittel-  
5 fluß, insbesondere Getriebeöl abgeführt. Die direkte Temperaturmessung an der Reibschißverbindung ist sehr aufwendig, insbesondere bei Kupplungen, bei denen beide Hälften drehbar sind. Die indirekte Temperaturmes-  
10 sung über das abströmende Kühlmittel ist ebenfalls sehr aufwendig. Darüber hinaus ist es sehr schwierig, einen Temperaturmeßfühler nahe genug an den drehenden Teilen der Reibschißverbindung unterzubringen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Temperaturbestimmung einer Reibschißver-  
15 bindung zu schaffen, bei dem die Temperatur nicht gemessen werden muß, sondern rechnerisch bestimmt werden kann.

Diese Aufgabe wird mit einem, auch die kennzeichnenden Merkmale des Hauptanspruchs aufweisenden, gattungsgemäßen Verfahren gelöst.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die aktuelle Temperatur durch die Integration der Differentialgleichung

$$20 \quad \tau * \frac{dT_R}{dt} + T_R = T_{K,zu} + K * \Delta\omega * M_U$$

berechnet,  
mit der Zeitkonstante

25

$$\tau = C_R \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A}$$

30

und dem Verstärkungsfaktor

$$35 \quad K = \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A},$$

40 wobei die Symbole bezeichnen:

$T_R$  Temperatur der Reibschißverbindung

$t$  Zeit

$T_{K,zu}$  Temperatur des Kühlmittels beim Zulauf = Umgebungstemperatur der Reibschißverbindung

$\Delta\omega$  Relativwinkelgeschwindigkeit der beiden Hälften der Reibschißverbindung

45  $M_U$  Übertragungsdrehmoment der Reibschißverbindung

$C_R$  absolute Wärmekapazität der Reibschißverbindung

$c_K$  relative Wärmekapazität des Kühlmittels

$\rho$  Dichte des Kühlmittels

$\Phi$  Kühlmittelvolumendurchfluß

50  $\alpha$  relative Wärmeübergangskonstante an der Grenzfläche Reibschißverbindung-Kühlmittel

$A$  Fläche der Grenzfläche Reibschißverbindung-Kühlmittel.

Diese Gleichung läßt sich folgendermaßen herleiten:

Der Reibschißverbindung wird für den Fall, daß ihre beiden Hälften aufeinander gleiten, Energie in Form von Reibungswärme zugeführt und Wärmeenergie durch ein Kühlmittel, vorzugsweise Getriebeöl abgeführt. Im

55 nicht stationären Fall — d. h. Reibungswärmeenergiefuhr ist ungleich Wärmeenergieabfuhr durch Kühlmittel — führt dies zu einer Änderung der Wärmeenergie der Reibschißverbindung. Der Energierhaltungssatz läßt sich folgendermaßen formulieren:

$$60 \quad C_R * \frac{dT_R}{dt} = P_R - P_K \quad (1)$$

mit

65  $P_R$  an der Reibschißverbindung verrichtete Reibleistung,

$P_K$  Kühlleistung.

Die an der Reibschißverbindung verrichtete Reibleistung  $P_R$  ist das Produkt aus Relativwinkelgeschwindigkeit  $\Delta\omega$  der beiden Hälften der Reibschißverbindung und ihrem Übertragungsdrehmoment  $M_U$

$$P_R = \Delta\omega M_U \quad (2)$$

Die Kühlleistung  $P_K$  führt zu einer Erwärmung des Kühlmittels

$$P_K = c_K \rho \Phi (T_{K,ab} - T_{K,zu}) \quad (3)$$

mit

$T_{K,ab}$  Temperatur des Kühlmittels beim Ablauf von der Reibschnüßverbindung.

Dabei ist der Wärmeübergang an der Grenzfläche zwischen Reibschnüßverbindung und Kühlmittel gegeben durch

5

10

$$P_K = \alpha A (T_R - <T_K>) \quad (4)$$

mit

$<T_K>$  mittlere Temperatur des Kühlmittels beim Wärmeübertrag.

Die mittlere Temperatur des Kühlmittels beim Wärmeübertrag wird als das arithmetische Mittel der Zu- und Abflußtemperatur angesetzt:

15

$$<T_K> = \frac{1}{2} (T_{K,ab} + T_{K,zu}) \quad (5)$$

20

Gleichung (5) in (4) eingesetzt ergibt:

$$P_K = \alpha A (T_R - \frac{1}{2} T_{K,ab} - \frac{1}{2} T_{K,zu}) \quad (6)$$

25

Gleichung (6) nach  $T_{K,ab}$  aufgelöst ergibt:

30

$$T_{K,ab} = 2T_R - T_{K,zu} - \frac{2}{\alpha A} P_K \quad (6')$$

Einsetzen von Gleichung (6') in (3) eliminiert die unbekannte Temperatur des Kühlmittels beim Ablauf von der Reibschnüßverbindung  $T_{K,ab}$ :

35

$$P_K = c_K \rho \Phi (2T_R - 2T_{K,zu} - \frac{2}{\alpha A} P_K) \quad (7)$$

40

Auflösen nach  $P_K$  ergibt:

$$P_K = \frac{2c_K \rho \Phi \alpha A}{2c_K \rho \Phi + \alpha A} (T_R - T_{K,zu}) \quad (7')$$

45

Gleichung (2) und (7') in (1) eingesetzt gibt folgende Differentialgleichung:

50

$$C_R \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A} * \frac{dT_R}{dt} + T_R = T_{K,zu} + \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A} * \Delta\omega * M_U \quad (8)$$

55

Der Term

60

$$C_R \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A}$$

65

hat dabei die Bedeutung einer Zeitkonstante  $\tau$  und der Term

$$\frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A}$$

5

die Bedeutung eines Verstärkungsfaktors K. Mit diesen beiden Abkürzungen erhält man obige Differentialgleichung:

10

$$\tau * \frac{dT_R}{dt} + T_R = T_{K,zu} + K * \Delta \omega * M_U$$

15 In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die Relativwinkelgeschwindigkeit  $\Delta \omega$  der beiden Hälften der Reibschnüßverbindung als Differenz der absoluten Winkelgeschwindigkeiten der Primär- und Sekundärseite dieser Reibschnüßverbindung berechnet. Dabei wird die die Primär- bzw. Sekundärwinkelgeschwindigkeit jeweils als Produkt der Winkelgeschwindigkeit eines im Antriebsstrang auf der Primär- bzw. Sekundärseite dieser Reibschnüßverbindung befindlichen Bauteils und dem Übersetzungsverhältnis zwischen jeweils 20 diesem Bauteil und der Primär- und Sekundärseite dieser Reibschnüßverbindung bestimmt. Die Winkelgeschwindigkeit wird dabei jeweils mittels eines Drehzahlsensors gemessen.

Vorteilhafterweise wird die Motordrehzahl als Drehzahl eines Bauteils auf der Primärseite der Reibschnüßverbindung und die Getriebeabtriebsdrehzahl als Drehzahl eines Bauteils auf der Sekundärseite der Reibschnüßverbindung herangezogen.

25 Das Übertragungsdrehmoment der Reibschnüßverbindung wird vorzugsweise anhand von dem Druck im Stellzylinder der Reibschnüßverbindung ermittelt. Da die Stellkolbenfläche bekannt ist, ebenso wie die Fläche und der Reibungskoeffizienten der Reibschnüßverbindung, kann die Reibungskraft der Reibschnüßverbindung berechnet werden. Multipliziert mit dem mittleren Radius der Reibschnüßverbindung ergibt sich damit das Übertragungsdrehmoment der Reibschnüßverbindung.

30 Vorzugsweise wird obige Differentialgleichung für die aktuelle Temperatur mittels eines Digitalrechners berechnet. Vorteilhafterweise wird zur Berechnung der aktuelle Temperatur das Runge-Kutta-Verfahren angewendet.

In einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die aktuelle Temperatur mittels eines Analogrechners berechnet.

35 Vorzugsweise ist das Getriebesteuerungsprogramm von dem Ergebnis der Temperaturberechnung abhängig. Durch eine Verringerung der Schalthäufigkeit bei hohen Temperaturen wird die Reibschnüßverbindung thermisch entlastet und kann sich wieder abkühlen. Bei hohen Temperaturen der Reibschnüßverbindung wird vorzugsweise der Ablauf des Lastschaltvorgangs in der Weise abgeändert, daß die thermische Belastung der Reibschnüßverbindung abnimmt. Dies bedeutet, daß bei hohen Fahrgeschwindigkeiten die Reibschnüßverbindung schnell geschlossen wird und bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten schnell geöffnet wird. Das führt zwar zu einem ruppigen Schaltverhalten und mangelndem Schaltkomfort, entlastet aber die Reibschnüßverbindung thermisch. Zwar ist dabei das Übertragungsdrehmoment und damit die Reibleistung für kurze Zeit noch höher, aber die gesamte Reibungswärme, d. h. das Integral der Reibleistung ist infolge kürzere Schaltzeiten, d. h. Zeiten, in denen die Kupplung schleift, geringer. Bei geringen Fahrgeschwindigkeiten, bei denen zwar das Übertragungsdrehmoment klein ist, aber die Kupplung permanent schleift, und damit eine hohe Reibungswärme anfällt, wird die Reibschnüßverbindung vorteilhafterweise schnell geöffnet.

40 In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden die Zeitkonstante  $\tau$  und der Verstärkungsfaktor K in Abhängigkeit von im Versuch ermittelten Funktionalen des Kühlmittelvolumendurchflusses  $\Phi$  bestimmt.

50

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Temperaturbestimmung einer Reibschnüßverbindung, insbesondere einer Kupplung oder Bremse eines Getriebes, bei der durch Relativdrehung zweier Reibflächen Reibungswärme erzeugt wird und diese Wärme durch einen Kühlmitteldurchfluß abgeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß ausgehend von einer Umgebungstemperatur der Reibschnüßverbindung ihre aktuelle Temperatur durch Integration der Temperaturänderung berechnet wird, die proportional zur Differenz aus Reibungsleistung und Wärmeabfuhr ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die aktuelle Temperatur durch die Integration der Differentialgleichung

60

$$\tau * \frac{dT_R}{dt} + T_R = T_{K,zu} + K * \Delta \omega * M_U$$

65

berechnet wird,  
mit der Zeitkonstante

$$\tau = C_R \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A}$$

5

und dem Verstärkungsfaktor

$$K = \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A},$$

10

wobei die Symbole bezeichnen:

$T_R$  Temperatur der Reibschißverbindung

$t$  Zeit

$T_{K,zu}$  Temperatur des Kühlmittels beim Zulauf = Umgebungstemperatur der Reibschißverbindung

$\Delta\omega$  Relativwinkelgeschwindigkeit der beiden Hälften der Reibschißverbindung

$M_0$  Übertragungsdrehmoment der Reibschißverbindung

20

$C_R$  absolute Wärmekapazität der Reibschißverbindung

$c_K$  relative Wärmekapazität des Kühlmittels

$\rho$  Dichte des Kühlmittels

$\Phi$  Kühlmittelvolumendurchfluß

$\alpha$  relative Wärmeübergangskonstante an der Grenzfläche Reibschißverbindung-Kühlmittel

25

$A$  Fläche der Grenzfläche Reibschißverbindung-Kühlmittel

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Relativwinkelgeschwindigkeit  $\Delta\omega$  der beiden Hälften der Reibschißverbindung als Differenz der absoluten Winkelgeschwindigkeiten der Primär- und Sekundärseite dieser Reibschißverbindung berechnet wird, wobei die die Primär- bzw. Sekundärwinkelgeschwindigkeit jeweils als Produkt der mittels jeweils eines Drehzahlensors gemessenen Winkelgeschwindigkeit eines im Antriebsstrang auf der Primär- bzw. Sekundärseite dieser Reibschißverbindung befindlichen Bauteils und dem Übersetzungsverhältnis zwischen jeweils diesem Bauteil und der Primär- und Sekundärseite dieser Reibschißverbindung bestimmt wird.

30

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Drehzahl eines Bauteils auf der Primärseite der Reibschißverbindung die Motordrehzahl und als Drehzahl eines Bauteils auf der Sekundärseite der Reibschißverbindung die Getriebeabtriebsdrehzahl herangezogen wird.

35

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Übertragungsdrehmoment der Reibschißverbindung anhand von dem Druck im Stellzylinder bei bekannter Stellkolbenfläche der Reibschißverbindung und der Abmessung sowie des Reibungskoeffizienten der Reibschißverbindung ermittelt wird.

40

6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die aktuelle Temperatur mittels eines Digitalrechners berechnet wird.

45

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die aktuelle Temperatur nach dem Runge-Kutta-Verfahren berechnet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die aktuelle Temperatur mittels eines Analogrechners berechnet wird.

50

9. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebesteuerungsprogramm von dem Ergebnis der Temperaturberechnung abhängig ist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebesteuerungsprogramm bei hohen Temperaturen der Reibschißverbindung die Schalthäufigkeit verringert.

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebesteuerungsprogramm bei hohen Temperaturen der Reibschißverbindung den Ablauf des Lastschaltvorgangs in der Weise abändert, daß die thermische Belastung der Reibschißverbindung abnimmt.

55

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebesteuerungsprogramm bei hohen Temperaturen der Reibschißverbindung diese bei hohen Fahrgeschwindigkeiten schnell schließt und bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten schnell öffnet.

13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitkonstante  $\tau$  und der Verstärkungsfaktor  $K$  in Abhängigkeit von im Versuch ermittelten Funktionalen des Kühlmittelvolumendurchfluß  $\Phi$  bestimmt werden.

60

65

**- Leeresite -**